

## GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ KULLANILARAK BİR ÇELİK KÖPRÜ SİSTEMİNDE DEFORMASYON ÖLÇÜMÜ

Z. Fırat Alemdar<sup>1</sup> and Senem Bilici<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

### ABSTRACT

In this study, the digital photogrammetry method is described to measure displacements in the experimental mechanics without applying digital sensors to the specimens is described. This optical technique uses a camera, a computer with frame grabber board and image analysis techniques within the MATLAB Image Processing Toolbox. The displacements at the surface of the test specimens are obtained by the analysis of the movements of special dots painted on the specimen before testing. The image analysis algorithm makes it possible to automatically track the motions of the dots and compute their centroid coordinates in a sequence of images. The aim of the study is to determine the vertical deformation of the steel bridge during testing and to compare with the results obtained from both a traditional instrument and a finite element analysis.

**Keywords:** steel bridge, deflection measurement, digital image processing

### ÖZET

Yapılan çalışmada, yapılarda meydana gelen deformasyonların ölçümü için dijital fotogrametrik yöntemlerinin kullanımı açıklanmaktadır. Bu yöntem numunelere dijital sensörler uygulanmadan deney sırasındaki yer değiştirmeleri ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu optik teknikte, kamera, video kayıtlarını resim karelerine çevirme programına sahip bir bilgisayar ve MATLAB görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Test numunelerinin yüzeyindeki yer değiştirmeler, numunede test öncesi karelajlara ayrılıp boyanmış özel noktaların hareketlerinin analizi ile elde edilir. Görüntü analiz algoritması, noktaların hareketlerini otomatik olarak izlemeyi ve sıralı bir şekilde dizilmiş görüntülerin merkezi koordinatlarını hesaplamayı sağlar. Çalışmanın amacı, test süresince çelik köprüde oluşan düşey deformasyonu belirlemek ve geleneksel ölçüm cihazlarından elde edilen sonuçlar ve sonlu elemanlar programı ile elde edilen değerler ile karşılaştırmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** çelik köprü, deformasyon ölçümü, görüntü işleme yöntemi

### GİRİŞ

İnsanoğlu görme yeteneği sayesinde çevresindeki olayları algılayarak tepki verebilir. Görme işlevi, cismin betimlenen özellikleri (renk, boyut, konum vb.) hakkında beyne bilgi gönderir ve buradaki görme merkezi ile algılama mümkün olur. Günümüzde kullanılan görüntü algılama teknolojilerinde de insan fizyolojisindeki bu görüntüyü algılama sistemi referans alınarak gelişmeler kaydedilmiştir. Görüntü işleme, insan görme sisteminin yaptığı işlemlerin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmeye çalışılmasıdır. Görüntü işleme yöntemleri görüntünün elde edilmesi, sayısallaştırılması, bölümlenmesi, iyileştirilmesi, sınıflandırılması, kaydedilmesi ve yeniden çağırılması gibi birçok işlemi kapsamaktadır. Görüntü işlemede, cisme ait görüntüler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılarak, merak edilen cisim özellikleri üzerinde soyut olarak erişilemeyen bilgilere erişebilme imkânı sağlanmıştır ve görüntü işleme teknolojisinin uygulanma amacı da buna yönelik olarak gelişmiştir [1].

Görüntü işleme, daha önceden kaydedilmiş olan mevcut görüntüleri işlemek veya iyileştirmek için de kullanılır. Görüntü analiz sistemleri yazılımlarla birlikte kullanılarak alınan görüntü saniyenin dilimlerinde analiz edilir. Görüntü analizi akıllı sistemlerin gelişmesinde anahtar bir rol oynar ve genellikle akıllı sistemler üzerine olan araştırmaların temel amacı algılayabilen, mantık yürütebilen, hareket edebilen ve öğrenebilen sistemler geliştirmektir.

Görüntü yöntemlerinin temel parçasını oluşturan dijital görüntülerdir. Dijital bir resim haline getirilmiş olan gerçek yaşamdaki görüntülerin, bir girdi resim olarak işlenerek o resmin özelliklerinin ve görüntüsünün değiştirilmesi sonucunda yeni bir resmin oluşturulmasıdır. Dijital görüntüler genelde endüstriyel kameralar kullanılarak elde edilmektedir. Görüntüler, kameralardan bilgisayara aktararak kullanıcı tarafından geliştirilen veya bu amaçla hazırlanmış ticari yazılımlar kullanılarak analiz yapılmaktadır [1].

Literatür araştırmaları gösteriyor ki son yıllarda görüntü işleme yöntemi mühendislik konularında geniş bir kullanım alanına sahip. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Austrell vd. [2] araştırmalarında mekanik test parçalarındaki deformasyon ve gerinimleri deney elemanına herhangi bir sensör uygulamadan ölçmeye çalışmıştır. Görüntü işleme algoritması noktalardaki hareketi otomatik olarak izlemeyi ve resimlerin sırasına göre orta noktalarındaki koordinatları hesaplamayı sağlamıştır. Bu yöntem sonlu elemanlardaki şekil fonksiyonlarını kullanarak ara değerdeki deformasyonları ve gerinimlerin yüzeylerini hesaplar. İlk resimdeki noktaların otomatik olarak tespiti zamandan tasarruf sağlamaktadır. Bu yöntemin daha iyi uygulanması için test numunesi üzerine karelajlar çizilebilir.

Whiteman vd. [3] hasarlı testler sırasında beton kirişlerde deformasyonların ölçümü için dijital fotogrametriyi kullanmışlardır. Deplasman bileşenlerinin üç boyutlu ölçümü, sınırsız ölçüm aralığı ve doğrusal olmayan sistematik hataları en aza indirmesi bu yöntemin avantajlarından bazılarıdır. Sonuçlar, farklı kirişlerde yapılan çeşitli testlerden elde edilmiştir. Fotogrametrik ve deplasman ölçerden alınan ölçümleri karşılaştırılmıştır.

Onat [4] çalışmasında betonun kırılmadan önceki potansiyel davranışını görüntü işleme tekniklerini kullanarak incelemiştir. Bu amaçla 50x10x10 cm boyutunda dikdörtgen prizma şeklinde lifli beton numuneleri hazırlanmış daha sonra bu beton numuneleri üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Yüke karşılık gelen deformasyon değerleri komparatör yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca deney sırasında numunelerin yüksek çözünürlüklü dijital kamera ile seri çekim yapılarak görüntüleri de elde edilmiştir. Bu görüntüler MATLAB programında kodlanan yazılımla işlenmiş ve ortaya çıkan deformasyon değerleri aynı anda elde edilen komparatör değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Kılınç [5] çalışmasında, çelik numune üzerinde farklı çap ve derinlikte oluşturulmuş deliklerin taramalı elektron mikroskop ile fotoğraflarını elde etmiş, daha sonra MATLAB programı yardımı ile piksel cinsinden derinliklerini bulmuş ve bunlar üzerinde inceleme yapmıştır. Çelik numunelerin koroziye ortama bırakılarak korozyona uğraması sağlanıp çelik numunede oluşan oyukların taramalı elektron mikroskobu ile fotoğrafları alındıktan sonra MATLAB programı ile derinlikleri tekrar bulunmuştur. Gerçek oyuk derinlik değeri ile görüntü işleme yöntemi kullanılarak belirlenen derinlik değerleri karşılaştırılmış ve maksimum % 6,5 bağıl hata ile gerçek oyuk derinliklerinin belirlendiği sonucuna varılmıştır.

Çomak vd. [6] inşaat mühendisliği alanında özellikle beton teknolojisinde görüntü işleme tekniklerinin kullanılma potansiyelini araştırmışlardır. Beton özelliklerinin belirlenmesinde ve parametrelerin değerlendirilmesinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı ile ilgili çalışmaların giderek arttığı sonucuna varılmıştır.

Fırat Alemdar vd. [7] farklı yüklemeler altında olan yapısal sistemlerde doğrusal olmayan tepkinin yerinin belirlenmesi hakkında çalışmışlardır. Veriler, dört açıklıklı büyük ölçekli köprü sistemlerinin sismik performansı araştırılırken güçlü sarsma olaylarına tepki sırasında kolonların plastik bölgelerindeki deformasyonlarından alındı. Plastikleşme bölgelerindeki deformasyonları kaydetmek ve analiz etmek için kolonların üst ve alt yüzeylerine referans çizgileri kullanılarak bir fotogrametri yöntemi uygulandı. Dinamik yükleme altındaki betonarme köprü kolonunun yüzeyindeki deformasyonlar ve dönmeler incelenmiş ve geleneksel deney aletlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Fotogrametri yöntemi ile, referans çizgileri kullanılarak çizilen yüzeydeki noktaların yanal ve düşey yer değiştirmelerinin yanında, plastikleşme bölgelerindeki deforme edilmiş şekli izlemek çok başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş, ancak kolonun dönmeleri gibi ikincil hesaplamaların sonuçları sınırlı bir başarı elde edilmiştir.

Şahin vd. [8] çalışmalarında çekme deneyine tabi tutulan numunelerin kesit alanlarını geleneksel ölçüm yöntemleri ve görüntü işleme yöntemi ile ölçerek karşılaştırmasını yapmışlardır. Daha sonra kopmanın gerçekleştiği kesitin görüntüsü işlenerek süneklik tespit edilmiş ve değerler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki ölçüm arasındaki ortalama hata payı %29.74 olarak hesaplanmıştır.

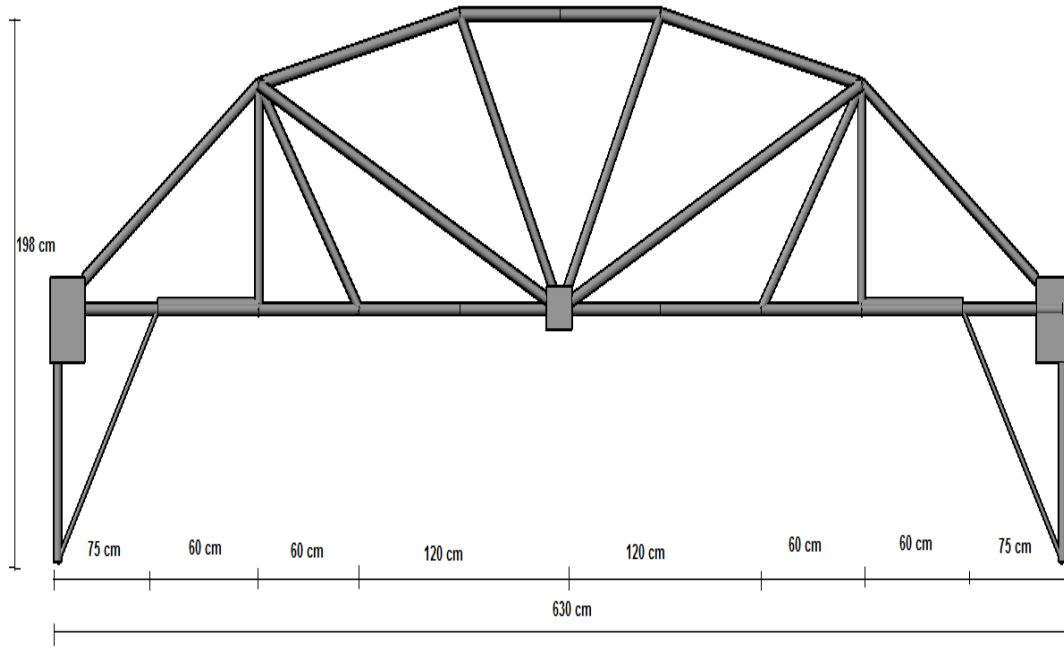
Henke vd. [9] çalışmalarında bina türü yapılardaki deformasyonları basit, doğru ve ekonomik bir şekilde ölçme sistemi geliştirmek için dijital görüntü işleme yöntemini uygulamışlardır. Yapının seçilen noktaları düzenli aralıklarla elektronik kameralar tarafından kaydedilip, yerleri dijital görüntü işleme yöntemi ile ölçülmüştür. Bu durumda hedef noktalar ışık yayıcı diyotlar (LED) ile birlikte ölçüm için kullanılan kameralar da kızılötesi aralıkta çalışır; bu da görüntü kalitesinin ışık koşullarından etkilenmediği anlamına gelmektedir. Laboratuvarındaki testler göstermiştir ki bu yöntem kullanılarak bina türü yapılar için belirli mesafelerde milimetre cinsinden hedef takibi mümkün olmaktadır. Çalışmada geniş açıklıklı ahşap çatı elemanına sahip bir yapı ele alınmış ve dört ana kirişin her üç noktasının hareketi dijital görüntü işleme yöntemi ile ölçülmüştür.

### ÇELİK KÖPRÜ SİSTEMİ

Bu çalışmada, Boğaziçi Üniversitesi'nin düzenlemiş olduğu 'Uluslararası Öğrenci Çelik Köprü Yarışması' kapsamında hazırlanan çelik köprü sisteminin düşey yüklemeler sırasında video kaydı alınmıştır. Görüntü işleme yöntemi kullanılarak kaydedilen video saniyede 1 tane olmak üzere fotoğraflara dönüştürülmüş ve MATLAB programı ile köprü orta bölgesindeki düşey yer değiştirme hesaplanmıştır.

#### Köprünün Geometrik Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan çelik köprünün toplam uzunluğu 6.3 m, yüksekliği 1.98 m'dir (Şekil 1). Ayrıca köprüde kullanılan çelik malzemenin sınıfı ASTM A992 olup  $\phi 40$  mm'lik ve  $\phi 15$  mm'lik boru profiller kullanılmıştır. Kullanılan çelik malzemenin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



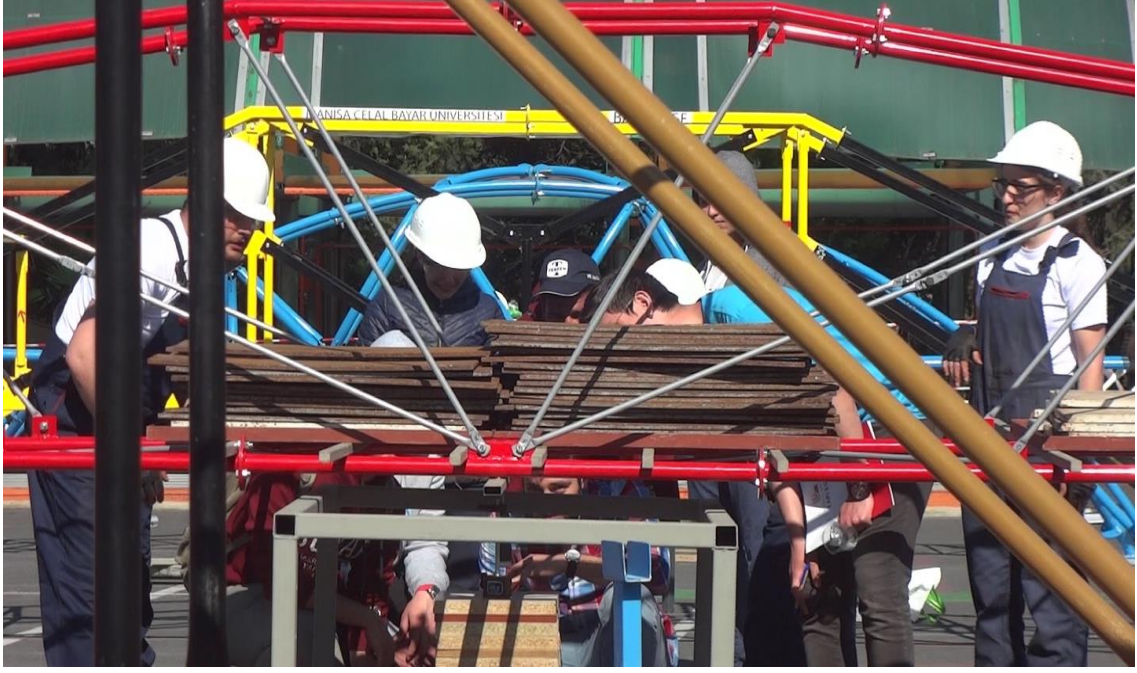
Şekil 1. AutoCAD programı ile tasarlanan çelik köprünün önden görüşü

Çizelge 1. Köprüde kullanılan çeliğin mekanik özellikleri

Minimum çekme gerilmesi(MPa)	450
Maksimum akma gerilmesi(MPa)	345
Elastisite Modülü(MPa)	200000
Yoğunluk(kg/m <sup>3</sup> )	7850

### Yükleme Deneyinin Yapılması

Düşey yük uygulamasında; 3 adet toplam 1.5 m uzunluktaki yüklem tablieleri (yaklaşık 25 kg ağırlığında) köprünün ortasına, sağ ve sol merkezlerine yerleştirilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi 500 kg’lık yük köprünün orta noktasına göre simetrik olacak şekilde sırayla sağ ve sol tabliye üzerine düzgün dağılacak şekilde, 1000 kg’lık yük ise köprünün orta noktasındaki tabliye üzerine yerleştirilmiştir [10].



Şekil 2.1 Yükleme deneyi

### DÜŞEY DEFORMASYON SONUÇLARI

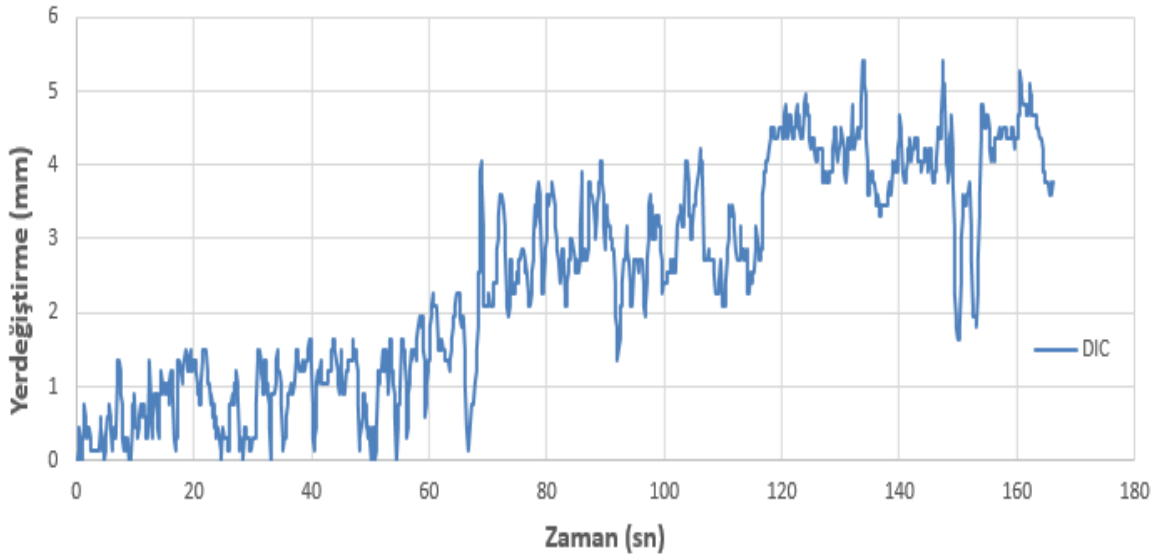
Köprüde yer değiştirmesi hesaplanması istenen özel noktasının konumu Şekil 3’te olduğu gibi referans noktası olarak işaretlenir ve görüntü işleme adımları takip edilir. Düşey yükler altında deney esnasında çekilen videodan elde edilen resimler 1440x1080 çözünürlüğe sahiptir ve saniyede 29 resim kaydedilmiştir. MATLAB’da bu özel noktanın düşey yer değiştirme değerleri deney boyunca elde edilir. Bu değerler piksel cinsinden olduğu için milimetreye dönüştürmek için ara işlem yapılır. Bunun için numunede uzunluğunu bildiğimiz milimetre cinsinden olan iki nokta arasındaki mesafenin piksel cinsinden hangi değere denk geldiği tespit edilir. Piksel cinsinden alınan veriler bu değerlerin birbirine olan oranı (gerçek uzunluk/piksel değeri) ile çarpılarak milimetreye çevrilmiş olur. Her bir fotoğrafın alındığı zamanın hesabı için saniye cinsinden hesaplanan toplam video süresinin toplam fotoğraf sayısına olan oranı bulunur.





Şekil 3. Çelik köprüde işaretlenen referans noktası

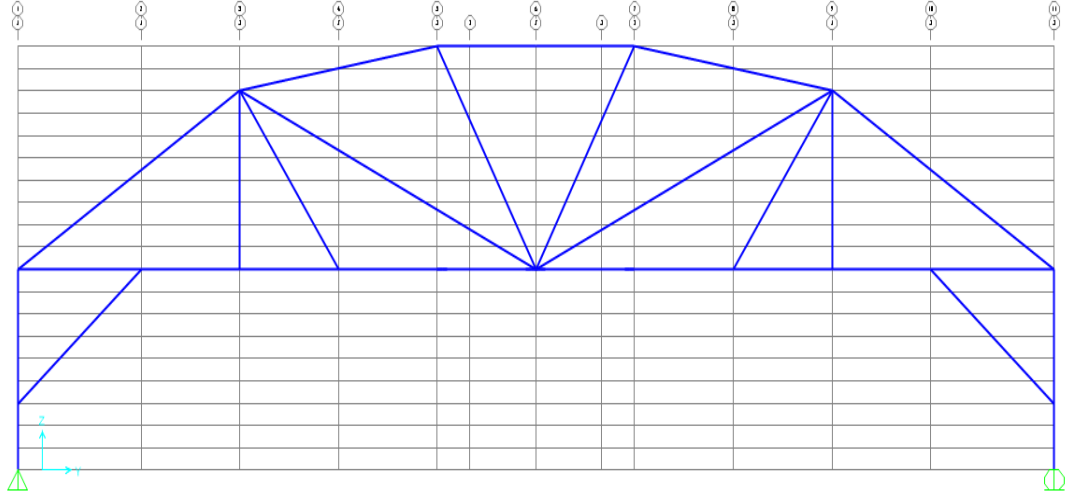
Çelik köprü için LVDT ile ölçülen yer değiştirme değeri 3.47 mm, görüntü işleme tekniği ile bulunan son yer değiştirme değeri ise 3.6 mm'dir (Şekil 4). Sonucun hata oranı  $(3.6-3.47)/3.47=0.037$ 'dir. Hata oranı çok küçük olup değer gerçek değere yakın çıkmıştır. Grafikteki dalgalanmaların sebebi deneyde plakalara yükler yerleştirilirken köprüde titreşimler meydana gelmesidir ve bu titreşimler yükleme sonuna kadar devam etmektedir.



Şekil 4. Çelik köprüde işaretlenen referans noktasının yer değiştirme grafiği

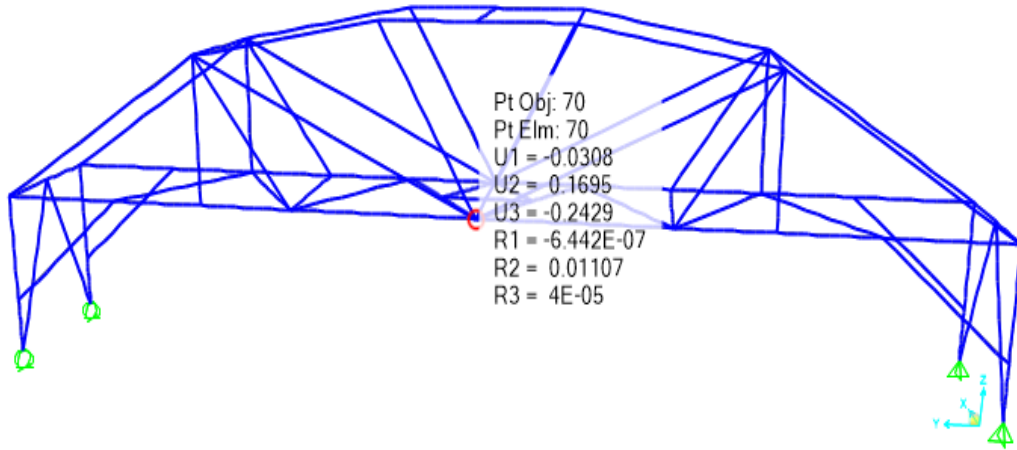
## ÇELİK KÖPRÜNÜN SONLU ELEMENLAR PROGRAMI İLE ANALİZİ

Çelik köprü sonlu elemanlar programı olan Sap2000 ile modellenip yükleme deneyine uygun şekilde analizi yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Sonlu elemanlar programı ile modellenen çelik köprü

Analiz sonucuna göre köprünün orta noktasındaki düşey yer değiştirme değeri 2.43 mm'dir (Şekil 6). Yükleme deneyi ile bulunan yer değiştirme değeri ise 3.47 mm'dir. Sonucumuzun hata oranı:  $(3.47-2.43)/3.47=0.29$ 'dir. Değerin yüksek olmasının sebepleri Sap2000 programında çelik köprü modellenirken bağlantılarda bulunan bulon elemanlarının modellenememesi ve kaynak yapılan bölgelerde sıcaklık etkisinde oluşan iç gerilmelerin modelleme sırasında dikkate alınmaması olarak söylenebilir.



Şekil 6. Sonlu elemanlar programı ile elde edilen yer değiştirme değerleri

## SONUÇLAR

Çalışmada kullanılan çelik köprü deneyi Boğaziçi Üniversitesi'nde yarışma kapsamında yapılmış olup deney sırasında köprüye yaklaşmamız mümkün olmamıştır. Güneş ışığı çekilen videonun kalitesini etkilemesine rağmen görüntü işleme yönteminden alınan sonuçlar gerçeği

yansıtmaktadır ve hata oranı %3,7'dir. Sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılan analiz sonucu hata oranı %29 bulunmuştur.

Yapılan çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Deney sırasında video kaydı için kullanılan fotoğraf makinesinin görüntü kalitesi, deneyin yapıldığı ortamdaki ışık miktarı ve kayıt alma mesafesi bu metodun doğru sonuç verebilmesi için önemlidir.
- Numune üzerindeki her bir piksel görüntü deneydeki nümerik değerleri etkileyeceği için, video kaydı alınan numune yüzeyinde gölgelenme durumu oluşmamasına dikkat edilmelidir. Bu tür durumlarda gölge oluşturabilecek pürüzlerin giderilerek yüzeyin düzeltilmesi gerekmektedir.
- Görüntü işleme yöntemiyle deformasyon ölçümü diğer klasik yöntemlere oranla birçok avantaj sunmaktadır. Genel olarak malzeme yüzeyine doğrudan temas olmadan ölçüm yapılabilir ve ölçüm hassasiyeti uygulamaya ve kamera sisteminin çözünürlük seviyesine göre ayarlanabilir.

### KAYNAKLAR

- [1] G. Çankaya, *Görüntü işleme teknolojisi ile betonun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, 2013.
- [2] P.E. Austrell, B. Enquist, A. Heyden, S. Spanne, Contact free strain measurement using matlab image processing toolbox, Lund, Sweden, 1995.
- [3] T. Whiteman, D. D. Lichti, I. Chandler, Measurement of deflections in concrete beams by close-range digital photogrammetry: *Symposium on Geopatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa, 2002.
- [4] M. Onat, *Dijital görüntü işleme yöntemleriyle lifli beton numunelerindeki çatlakların tespit edilmesi*, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, 2008.
- [5] İ. Kılınç, *Çelik malzemelerde korozyon oyuklarının görüntü işleme yöntemiyle incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, 2009
- [6] B. Çomak, A. Beycioğlu, C. Başyigit, Ş. Kılınçarşlan, Beton teknolojisinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı: *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 2011.
- [7] Z. Fırat Alemdar, J. Browning, J. Olafsen, Photogrammetric measurements of rc bridge column deformations, *Journal of Engineering Structures*, Vol. 33 Issue 8 (2011), pp. 2407-2415.
- [8] Y. Şahin, M. K. Baş, F. Öztürk, S. Kılıç, Malzemelerde sünekliğin görüntü işleme yöntemiyle ölçülmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 2 (2013), Sayı 2, 34-42.
- [9] K. Henke, R. Pawlowski, P. Schregle, S. Winter, Use of digital image processing in the monitoring of deformations in building structures: *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5 (2014) s: 141–152.
- [10] 11. Design & Construct Uluslararası Öğrenci Çelik Köprü Yarışması Kuralları ve Düzenlemeleri, Yapı Kulübü, Boğaziçi Üniversitesi, 2017.